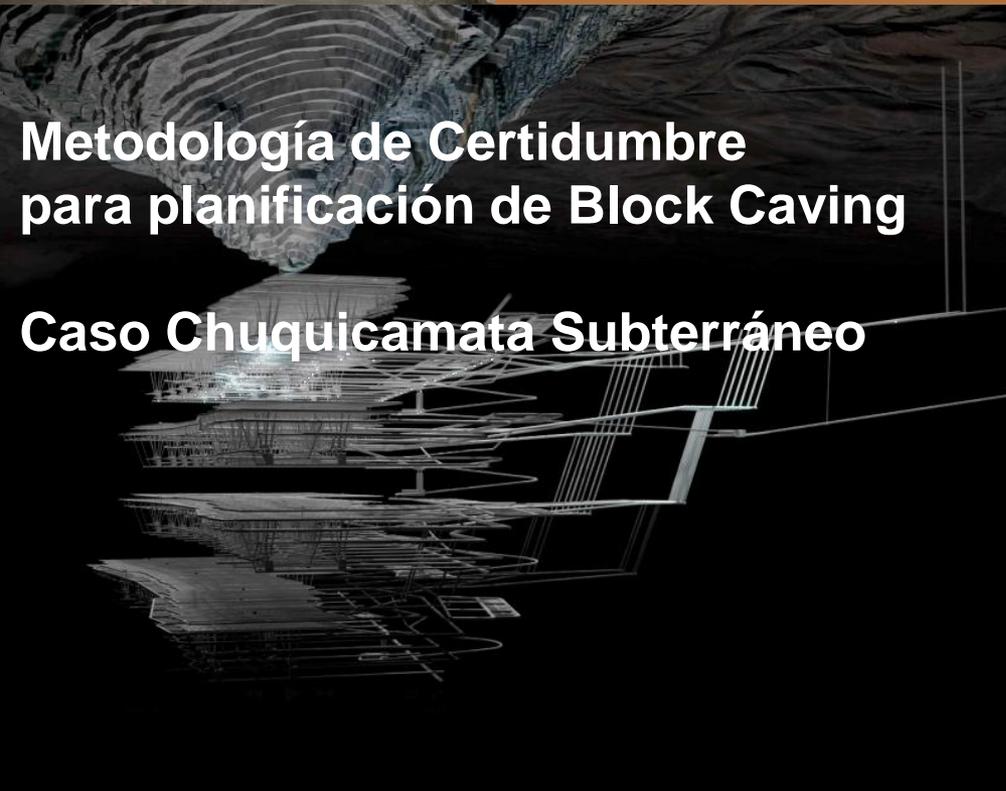




Codelco Chile - Vicepresidencia de Proyectos

# Taller Buenas Prácticas Reservas Mineras



Metodología de Certidumbre  
para planificación de Block Caving

Caso Chuquicamata Subterráneo



# METODOLOGÍA DE CERTIDUMBRE PARA PLANIFICACIÓN DE BLOCK CAVING

## CASO CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEO

Comisión Calificadora Recursos y Reservas

Francisco Carrasco J.

Jefe de Ingeniería PMCHS

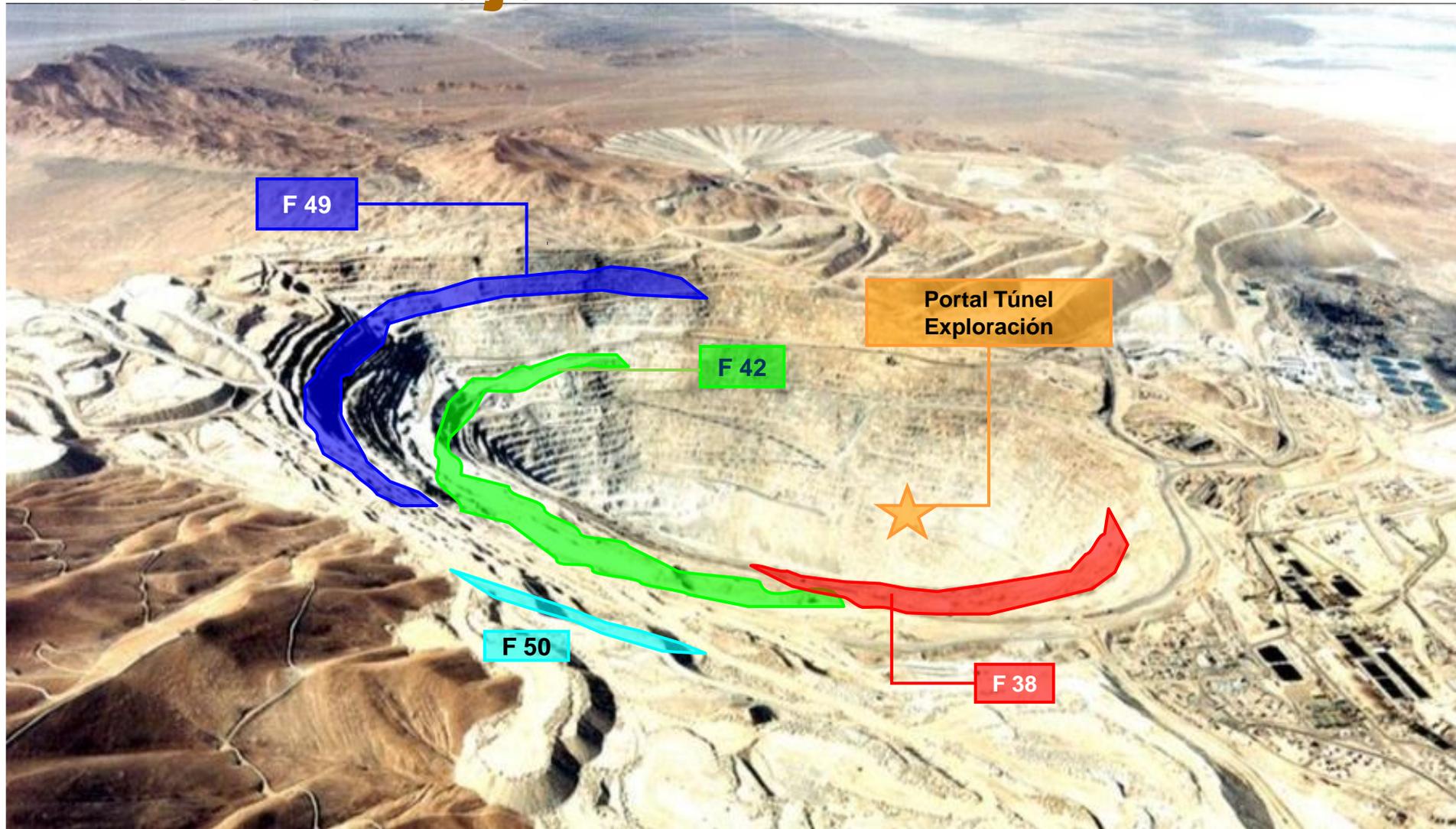


# Temario

- **Contexto CHS: Rajo, Exploración y Recursos**
- **Concepto CHS**
- **Método de Explotación, Macrobloques y Plan Minero**
- **Buenas Prácticas?**
- **Caso Rajo Abierto**
- **Caso Típico Caving**
- **Planificación Bajo Criterio de Certidumbre – Conceptos**
- **Plan Minero CHS**
- **Comentarios Finales**



# Fases CH Rajo



F 49

F 42

F 50

Portal Túnel  
Exploración

F 38

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

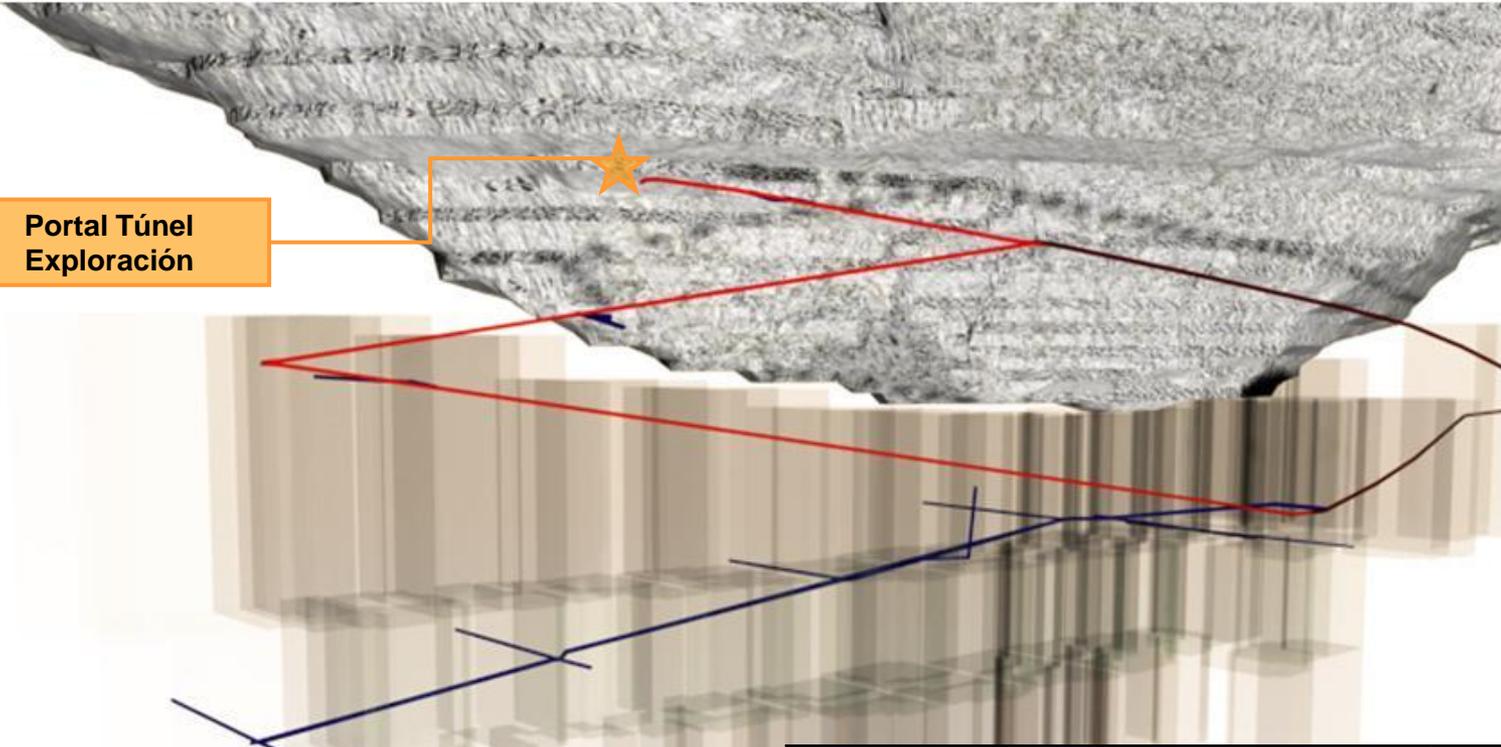
Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Exploración

Inicio labores:  
Diciembre 2002

Portal Túnel  
Exploración



Ítem	Realizados
Labores (Km)	16
Sondajes (Km)	165
Sondajes 2010-2012 (Km)	25

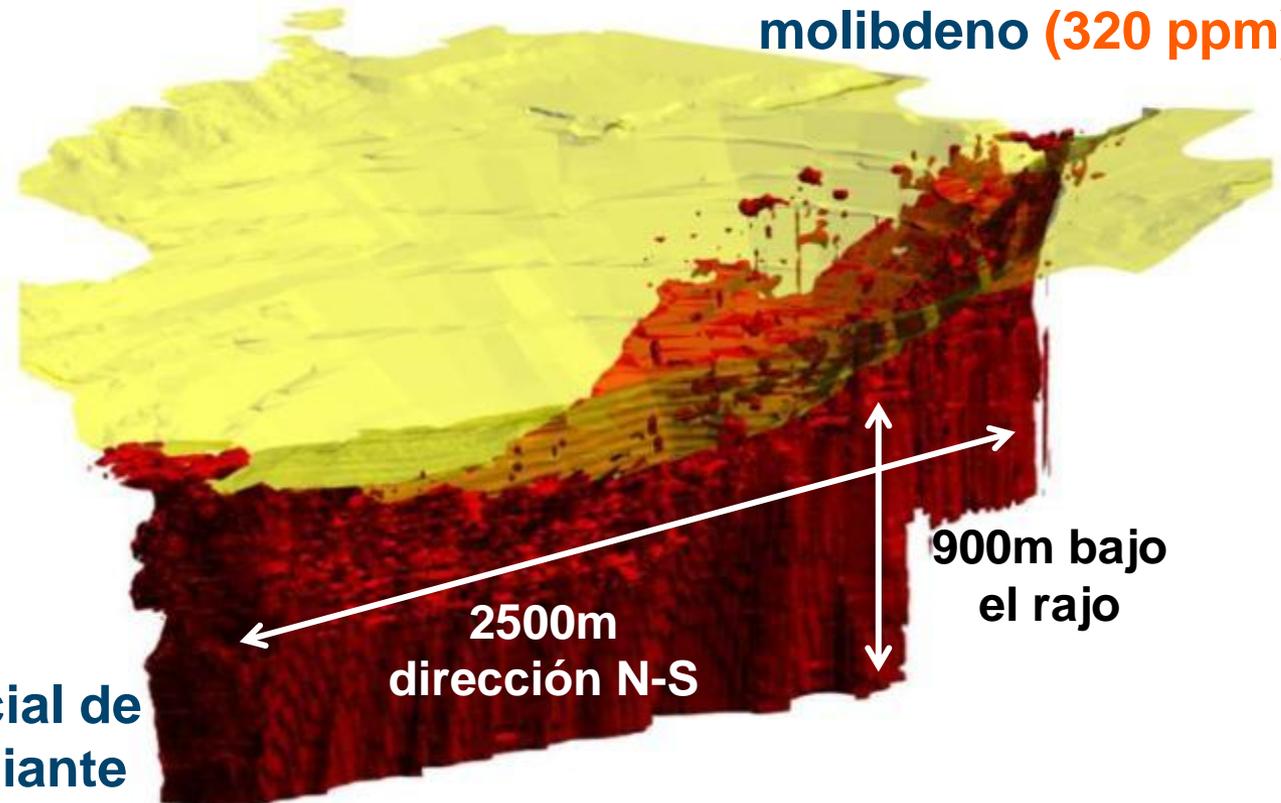
Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Recursos

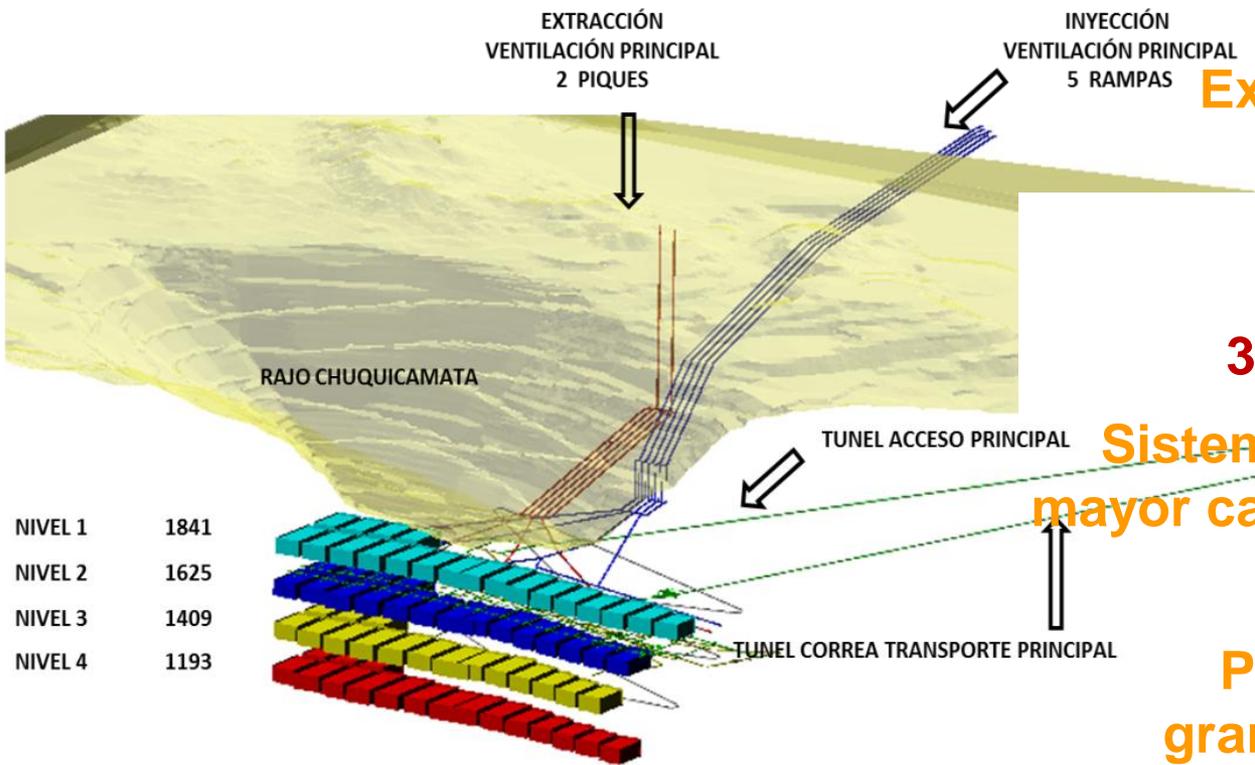
...bajo el rajo aún existen **4.300 millones** de toneladas en recursos de mineral de cobre (**0,70%**) y molibdeno (**320 ppm**).



Con un gran potencial de ser explotados mediante minería subterránea...



# Concepto CHS



**Distintivo Método de Explotación (Block Caving, Macrobloques)**

**4 Niveles**

**38 años vida útil, 140 ktpd**

**Sistema correas principales de mayor capacidad del mundo (72", ST10000)**

**Piques de ventilación mas grandes de Chile (11m diam)**

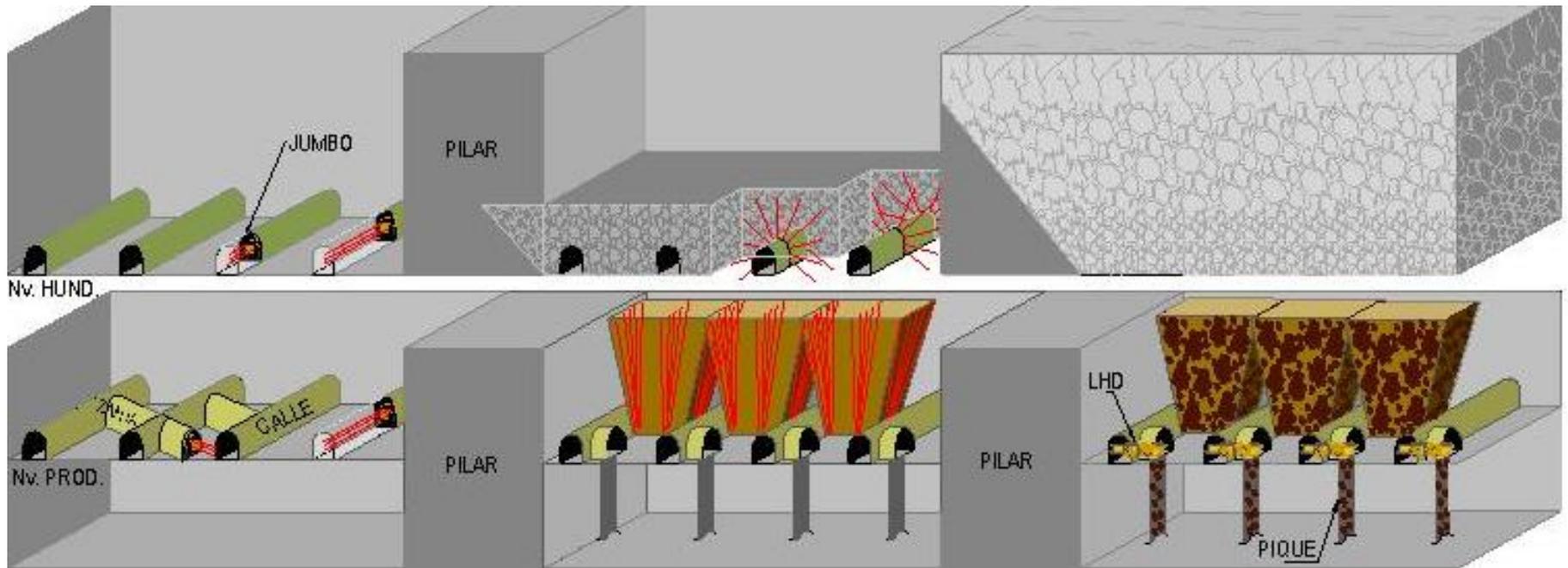
**Operado desde Superficie (CIO&G)**

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Método de Explotación



MB1 - EN PREPARACION

MB2 - EN SOCAVACION

MB3 - EN PRODUCCION

**Flexibilidad  
Operacional y de  
Planificación**



**Segmentación  
Geográfica**



**Método:  
Macro Bloques**

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Método de Explotación



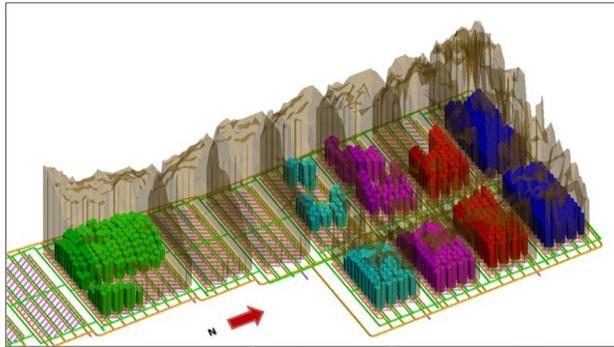
Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.

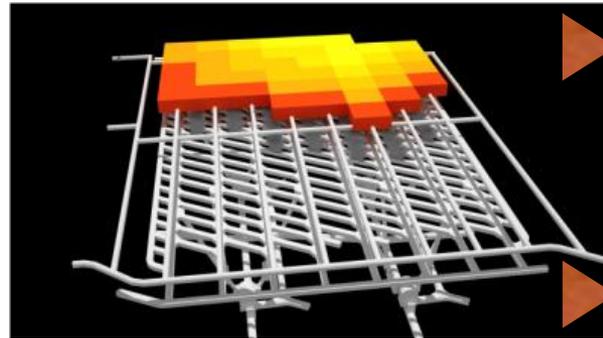


# Macrobloques

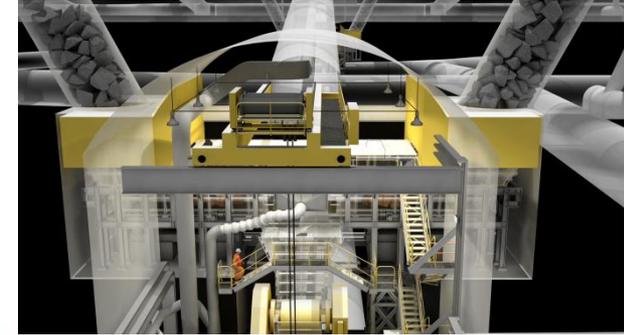
Preacondicionamiento FH+DDE



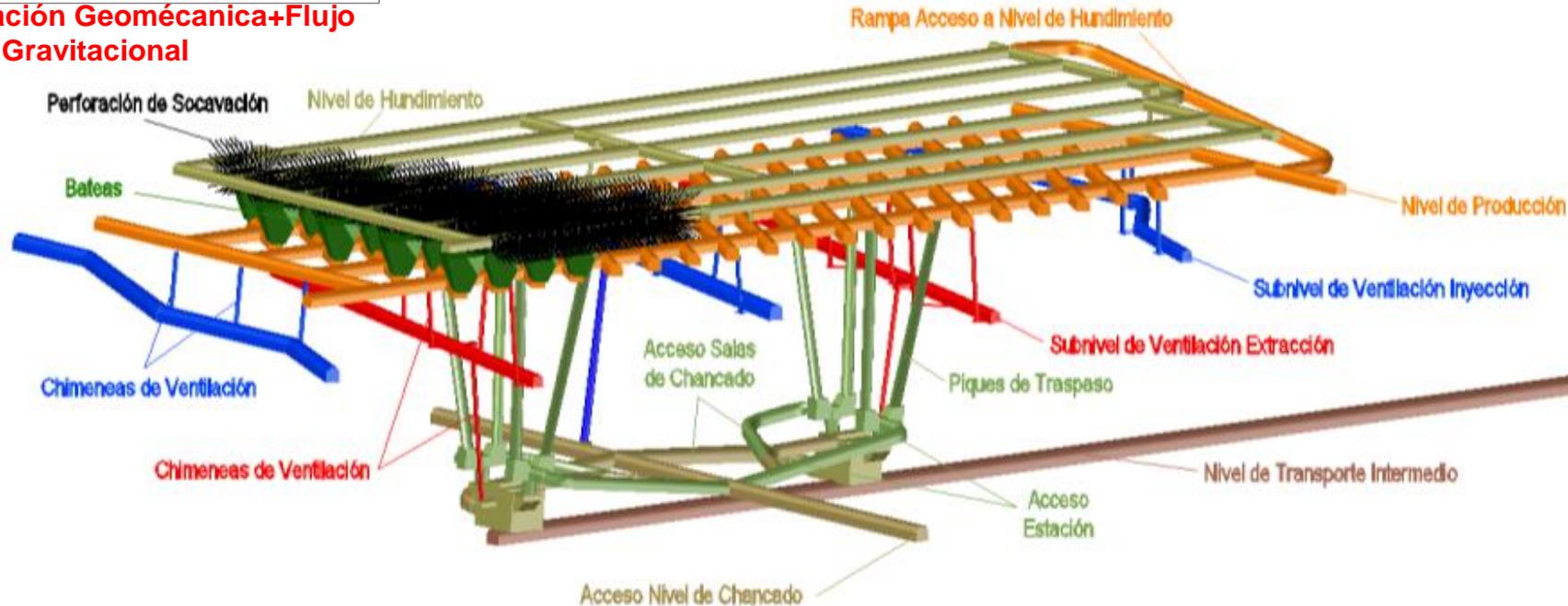
Socavación



Sala de Chancado



Instrumentación Geomécanica+Flujo Gravitacional



Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.

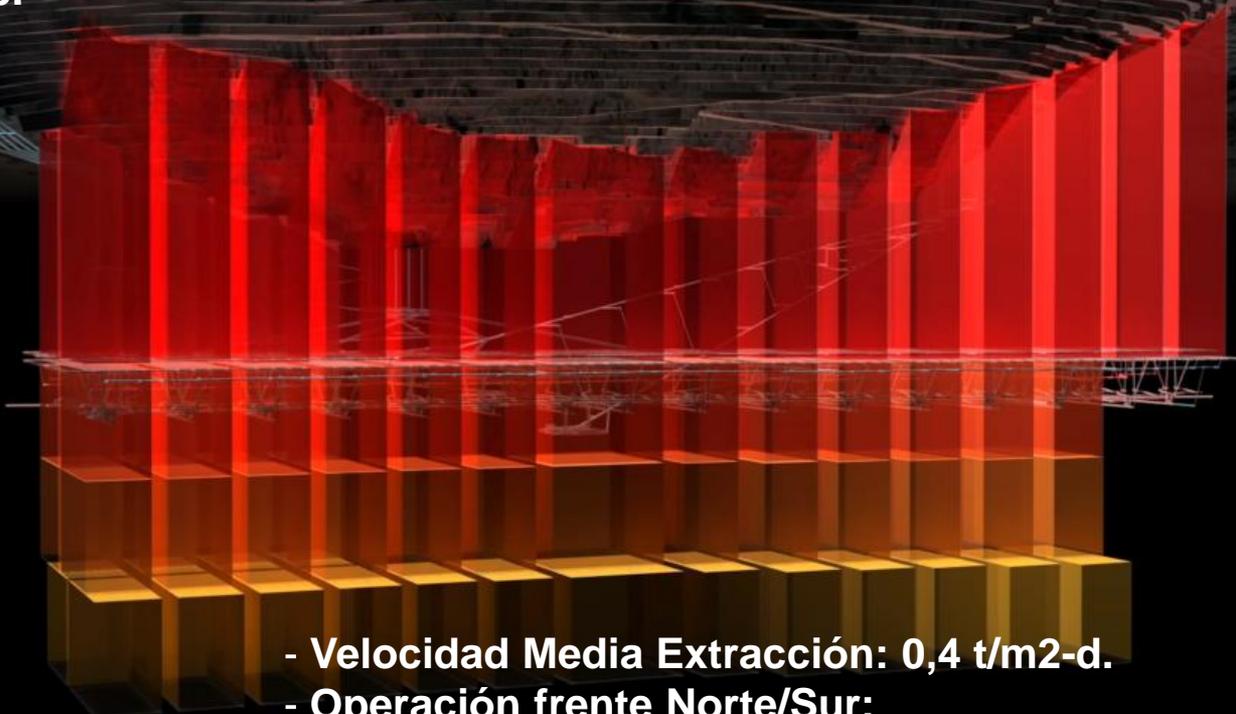


# Planificación

## Plan Minero:

- 140 Ktpd (360 d/año), régimen durante 29 años.
- 4 Niveles, hasta 2 niveles simultáneos.
- 7 años Ramp-up.

1  
2  
3  
4



- Velocidad Media Extracción: 0,4 t/m<sup>2</sup>-d.
- Operación frente Norte/Sur:
  - 3 MB en propagación, 1-2 Mton/año, 4000tpd en promedio
  - 3 MB en régimen , 4-8 Mton/año, 15000-22000tpd

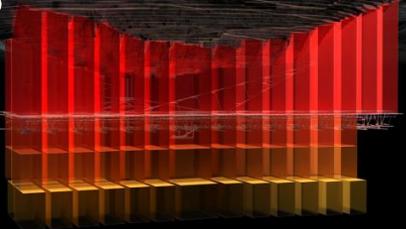
Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.

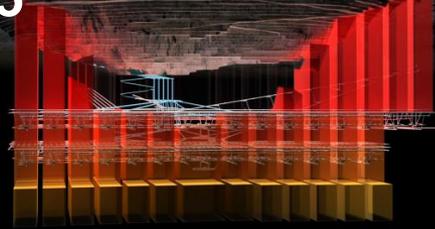


# Planificación

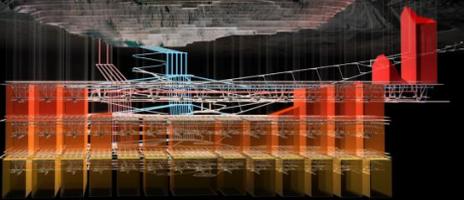
2018



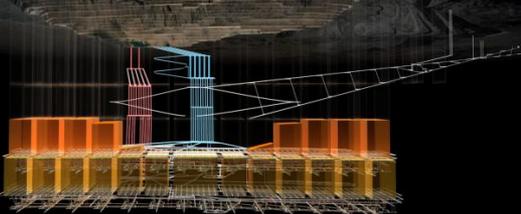
2025



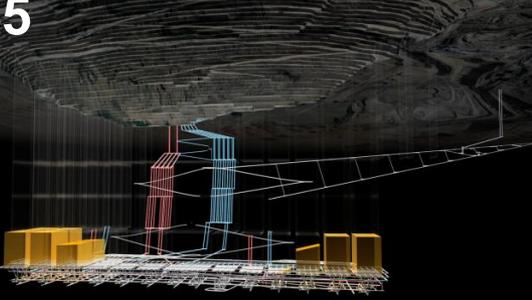
2031



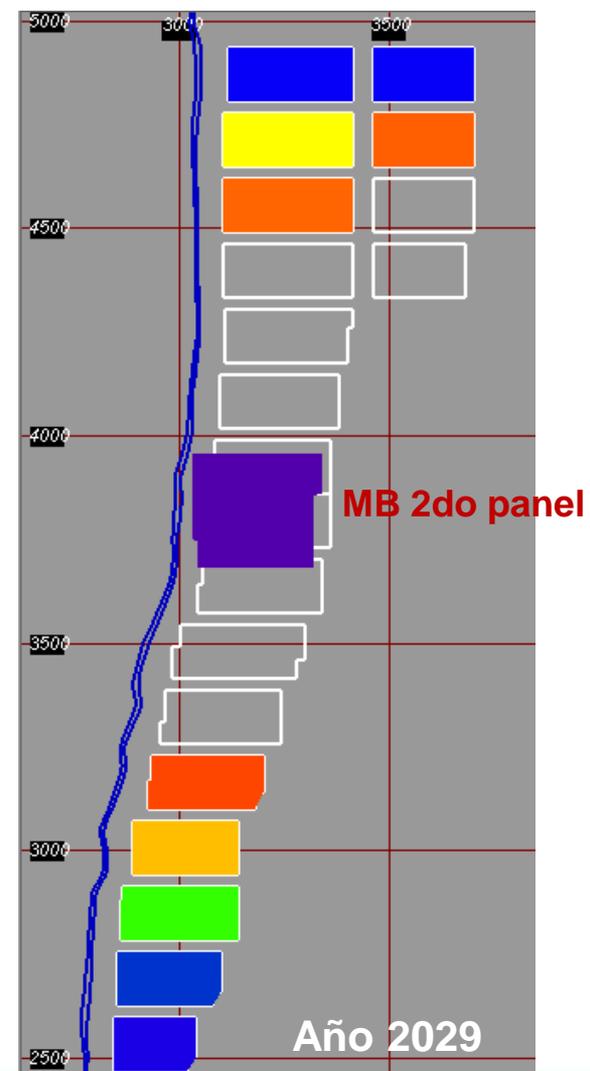
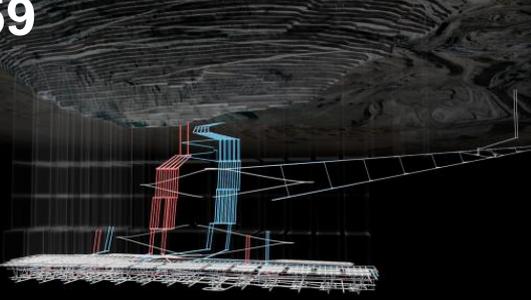
2045



2055



2059



Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Buenas Prácticas

- **Criterios simples y replicables?**
- **Estado del arte?**
- **Qué se hace en otros problemas similares?**
- **Evaluación de pares?**



# Caso Rajo

- Optimización de envoltentes considerando variación de precios y costos → pits anidados como definición de secuencia e incorporación de riesgos técnicos y del negocio.
- En algunos casos, uso costo oportunidad vía Lane.
- Eventualmente se utiliza concepto de pits descontados para incorporar el efecto del tiempo.
- Resumen:
  - Uso de conceptos de **riesgo** en la definición de **secuencias** y cálculo de **recursos extraíbles**.
  - Uso de concepto de **costo de oportunidad**.



# Caso Típico Caving

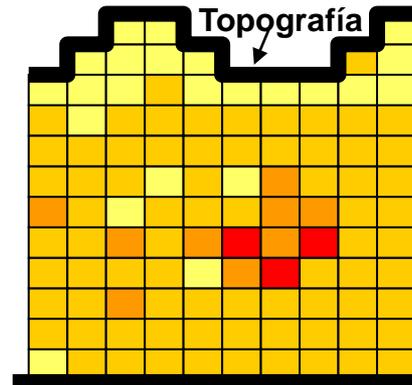
- **Uso del criterio de máximo beneficio acumulado por columna de extracción.**
- **En general, uso de ejercicios determinísticos (envolventes, altura extraíble, secuencia, etc).**
- **Como incorporar riesgos y costo de oportunidad?.**
  - **Lerch Grossman invertido?, Sensibilidad?, Lane?**
  - **Otras técnicas (métodos estocásticos, algoritmos genéticos, sistemas complejos)?**
- **CHS ha definido el uso de la **metodología de certidumbre** para definición de envolventes, secuencia y recursos extraíbles.**



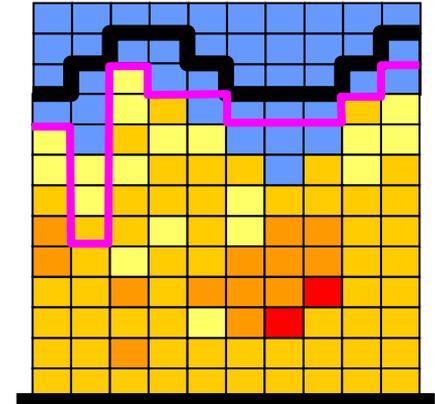
# Caso Típico Caving



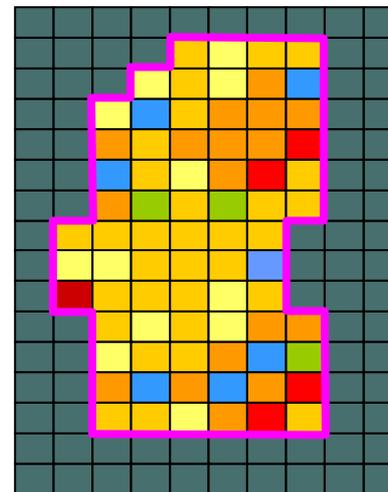
Modelo de bloques original



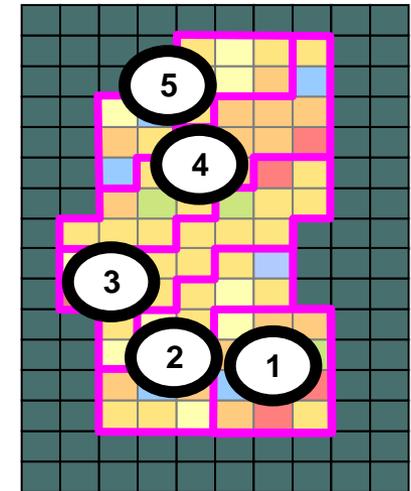
Integración económica



Cubicación de recursos extraíbles



Definición secuencia



Vista en planta beneficios

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Criterio de Certidumbre

- Metodología (Heurística) utilizada en CHS desde la Ing Conceptual (2007), complementaria al método convencional.
- Incorpora conceptos de riesgos económico y técnicos, así como aspectos de secuencia y costo de oportunidad.
- Simulación de Montecarlo para evaluación de valor económico de columnas de extracción (250 corridas).
- Definición de variables relevantes y su distribución (simplificada): Precio, Costos, TC/RC, entre otros.
- Certeza= Pbb (beneficio columna extracción > 0)

$$= \frac{\text{N}^\circ \text{ veces beneficio columna} > 0}{\text{N}^\circ \text{ corridas totales}}$$

Nº corridas totales

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Criterio de Certidumbre

- **Entrega información adicional que permite:**
  - Establecer una secuencia de explotación con un criterio claro para discriminar recursos extraíbles.
  - Información adicional a la aportada por tonelaje y leyes y beneficios.
  - Metodología muestra una relación directa entre valor del plan minero y criterios de corte asociados a certidumbre.
  - Incorpora una etapa de análisis económico en la etapa de definición de envolventes.
- **Simple empaquetamiento del algoritmo en software para uso masivo.**



# Metodología Propuesta

**Modelo de Bloques in situ**  
Recepción, carga y chequeo de modelo de bloques

**Topografía**  
Recepción, carga y chequeo de topografía

**Incorporación de Material Quebrado**  
Determinar las características del material quebrado y aplicar en el modelo de bloques

**Parámetros Económicos**  
Considerar el modelo de negocio, OOCV vigentes y determinar distribuciones de probabilidad para precios, capex y opex

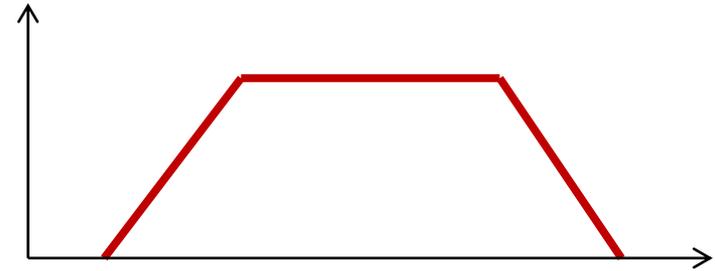
**Niveles de Explotación**  
Cota de los niveles de explotación

**Dilución (D. Laubsher)**  
Determinar el punto de entrada de dilución (PED) y aplicar a cada nivel de explotación

**Integración – Obtención del Footprint**  
Calcular las alturas extraíbles, footprint y cubicaciones preliminares

**Factibilidad Técnica – Obtención del Footprint**  
Aplicar consideraciones geomecánicas y de diseño, footprint y cubicaciones finales

**Plan de Producción**  
Verificar el cumplimiento del plan de producción con las nuevas cubicaciones



**Definición de distribuciones para precios, costos y otros parámetros.**

**Metodología Certidumbre**

**Proceso Iterativo  
Plan Minero + Evaluación Económica\***

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

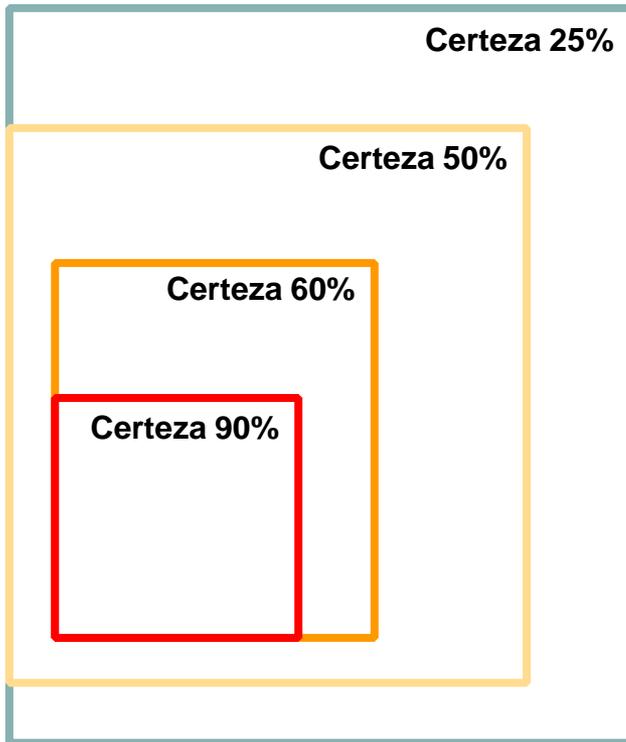
Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



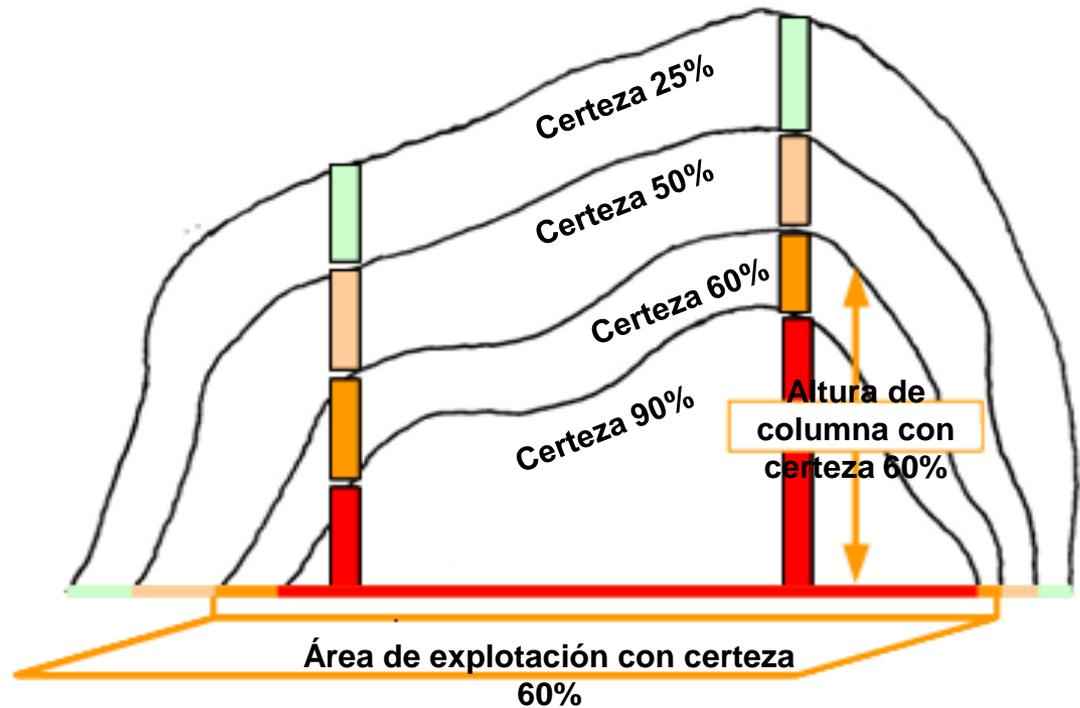
# Metodología Propuesta

## Que se busca?

### Planta



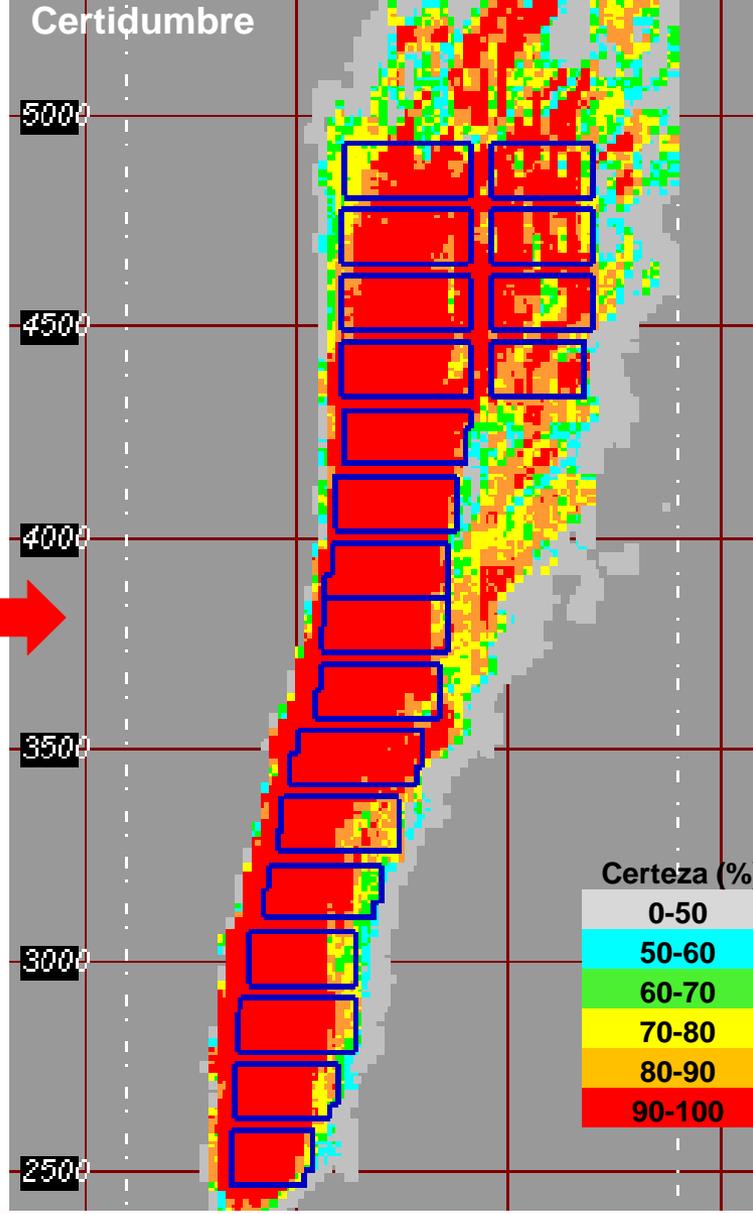
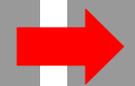
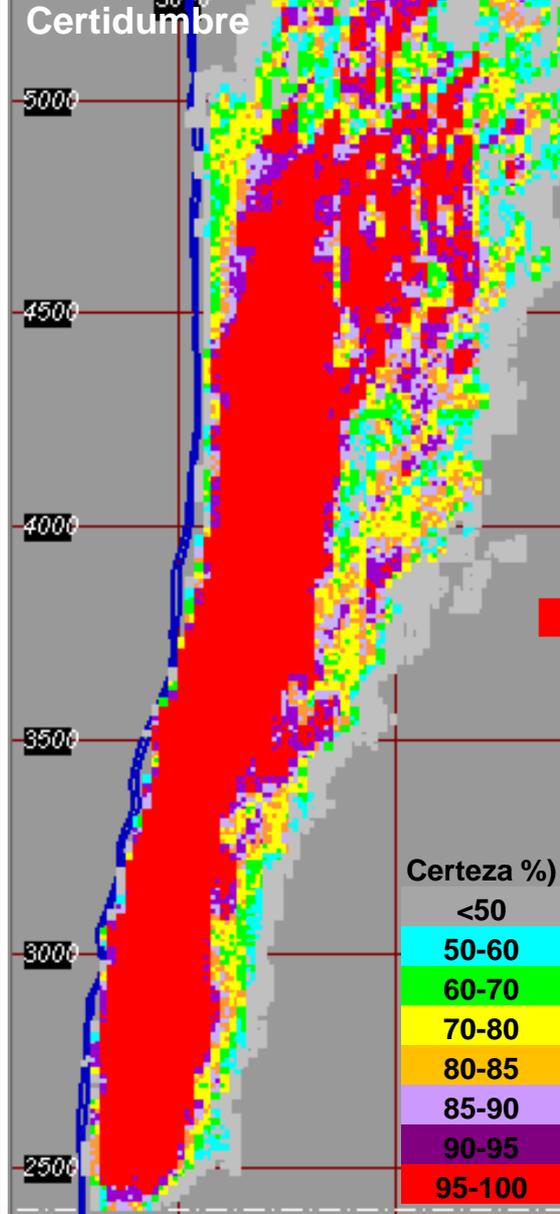
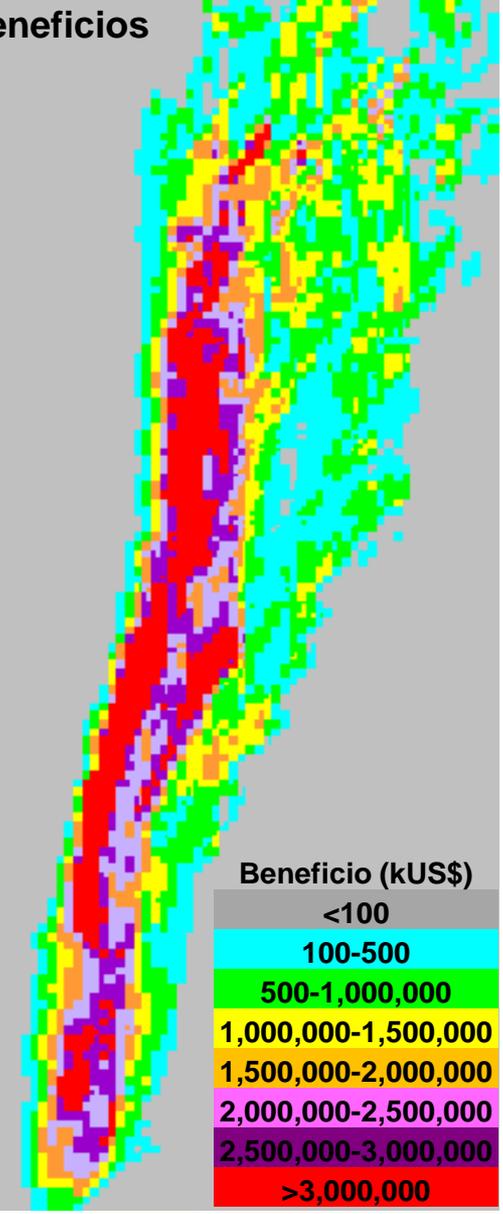
### Altura



# Beneficios

# Certidumbre

# Certidumbre



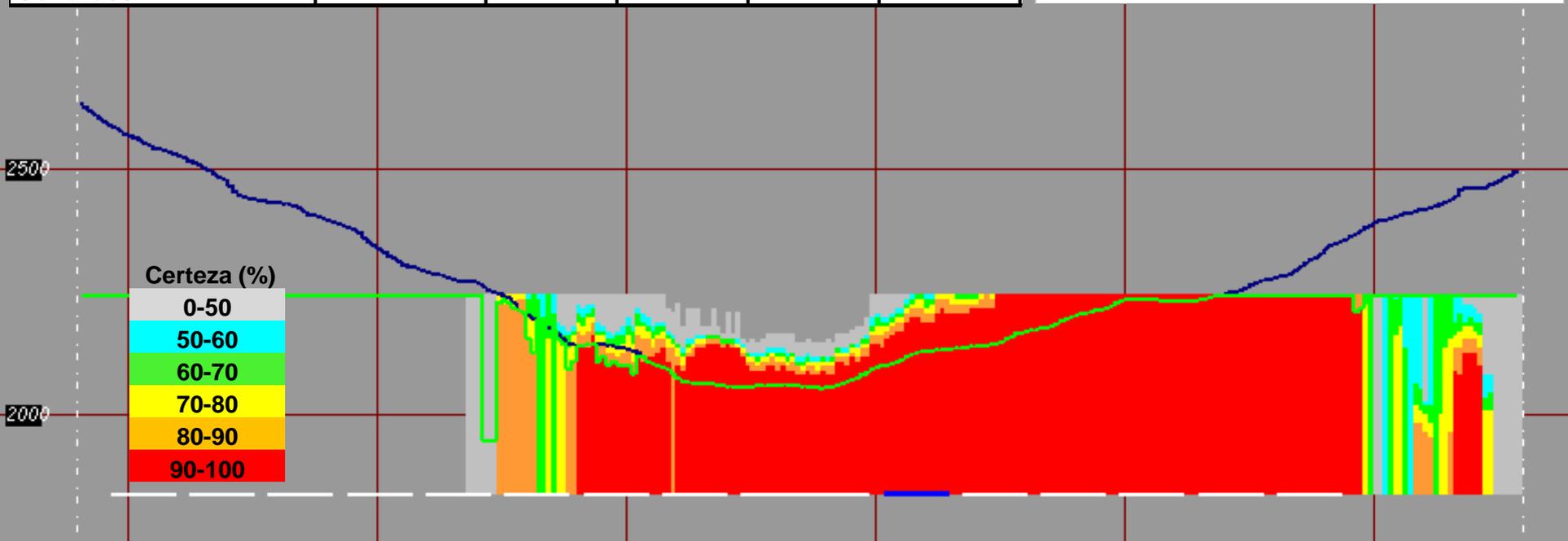
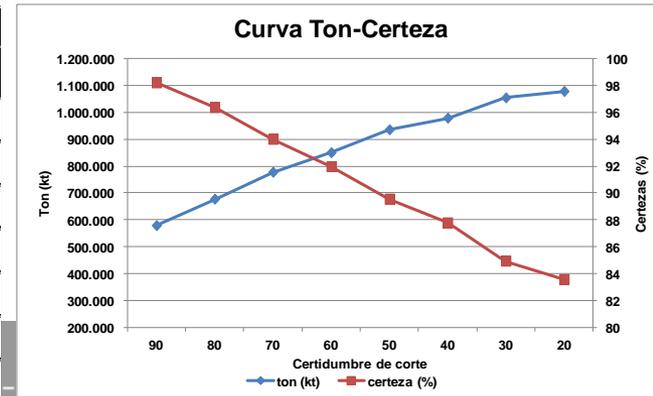
Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Criterio de Certidumbre

Envoltentes nivel 1841	Recursos kt	Cu (%)	Mo (ppm)	As (ppm)	Área (m <sup>2</sup> )
Beneficio_deterministico	929.882	0,789	470	420	923.324
Certeza90	578.657	0,902	657	603	587.833
Certeza80	677.082	0,864	596	543	679.760
Certeza70	777.163	0,832	540	489	776.515
Certeza60	850.092	0,810	505	455	840.582
Certeza50	935.385	0,788	469	420	919.997



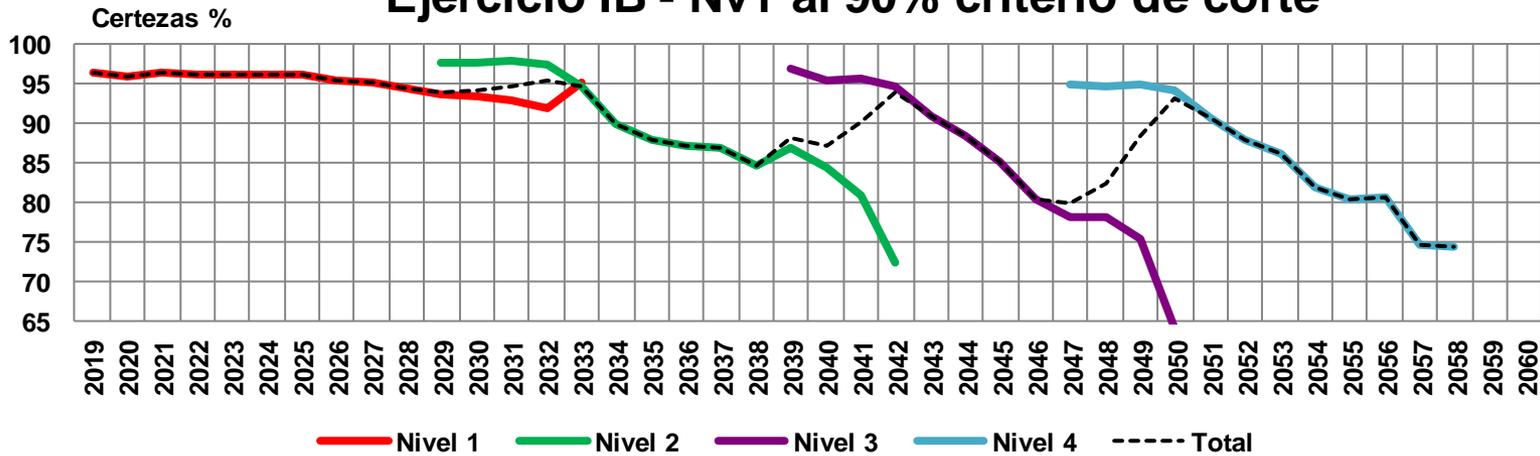
Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



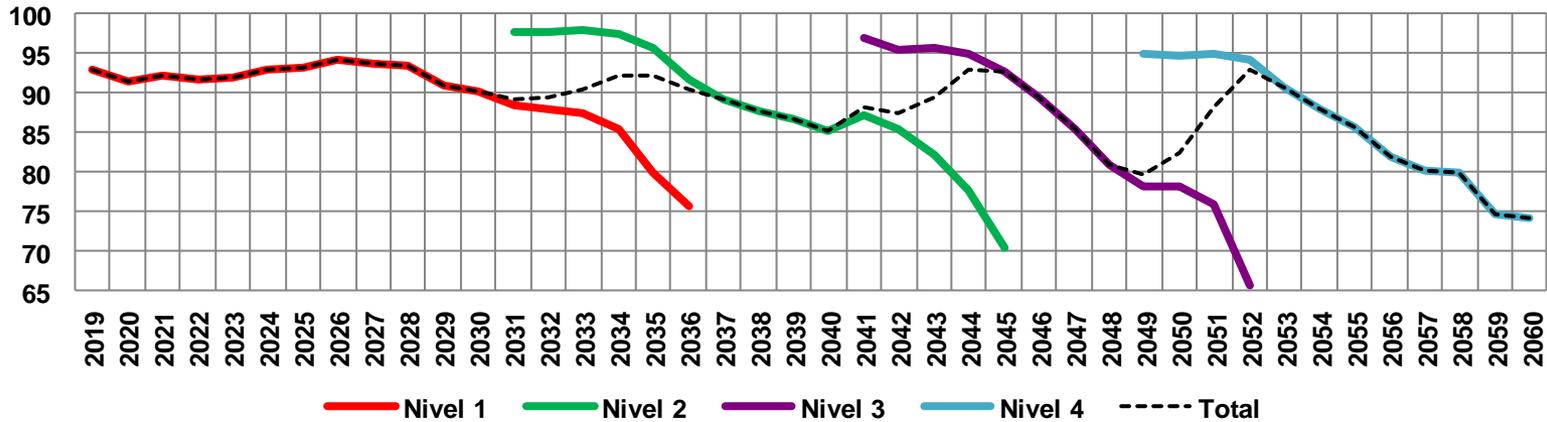
# Criterio de Certidumbre

## Ejercicio IB - Nv1 al 90% criterio de corte



- Nivel 1 90% certeza
- Nivel 2 60% certeza
- Nivel 3 50% certeza
- Nivel 4 50% certeza

## Ejercicio IB - Nv1 al 60% criterio de corte

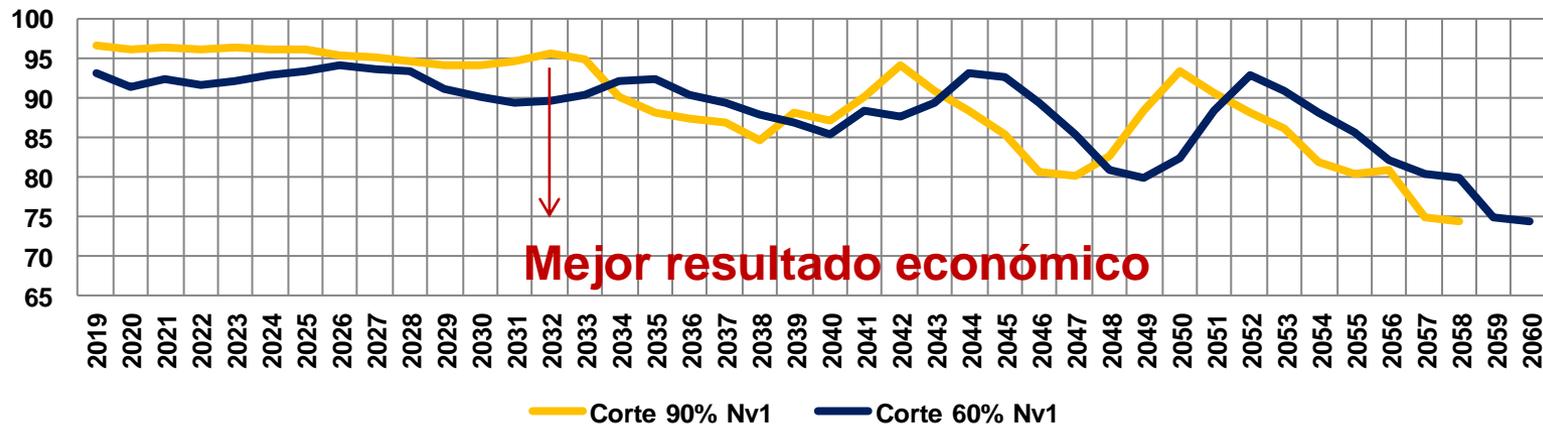


- Nivel 1 60% certeza
- Nivel 2 60% certeza
- Nivel 3 50% certeza
- Nivel 4 50% certeza



# Criterio de Certidumbre

## Comparación Certezas



- **Resultados indican que:**
  - **A mejor certidumbre mejor resultado económico.**
  - **Recursos extraíbles asociados a certezas entre 50% y 90% no aportan valor al plan, puesto que se trataría de materiales de leyes marginales que compiten con la entrada del segundo nivel que posee mejores leyes y certezas.**
  - **Criterio posee la “forma” de análisis bajo costo de oportunidad.**



# Planificación CHS IB

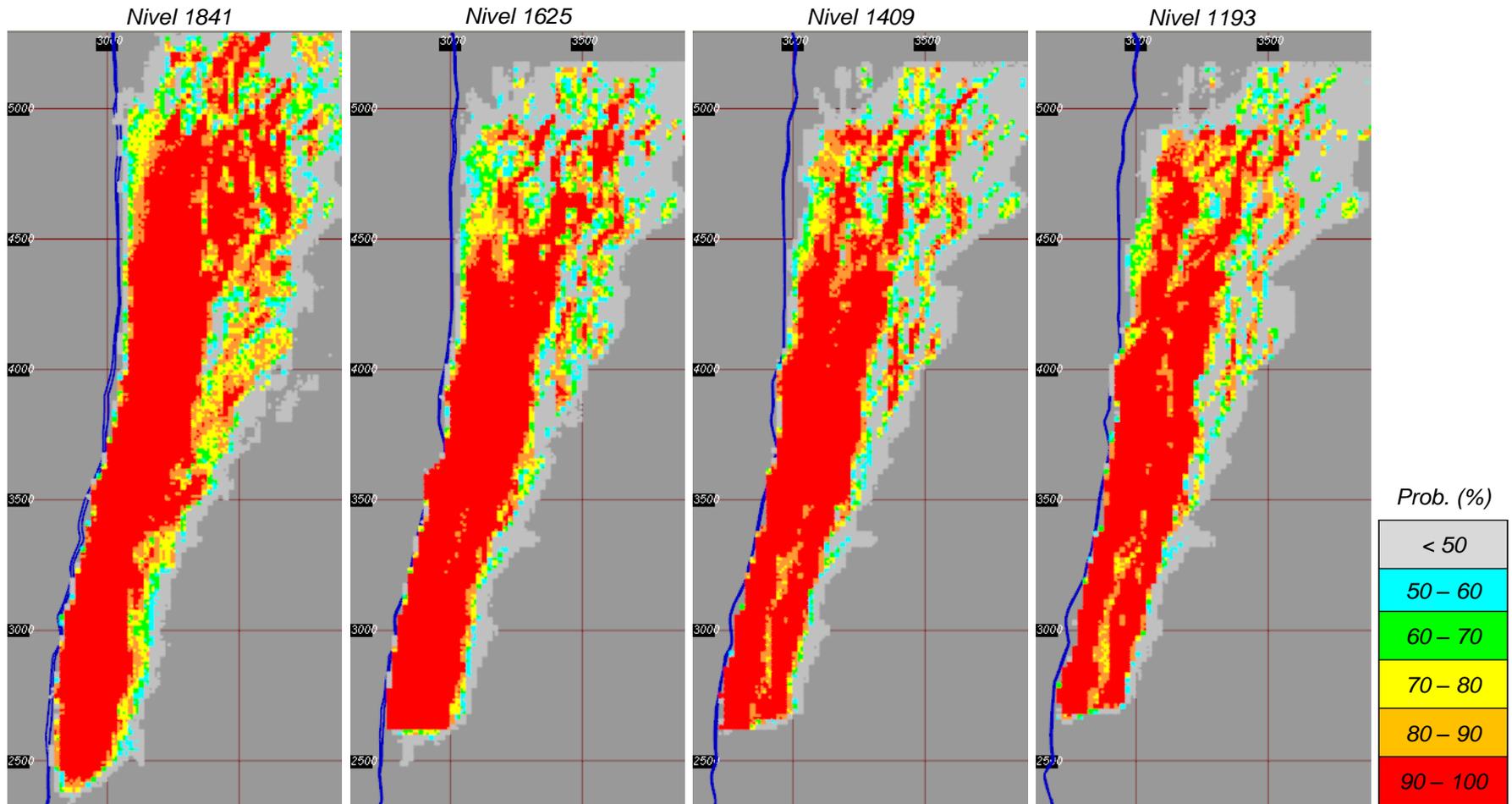


Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Planificación CHS IB

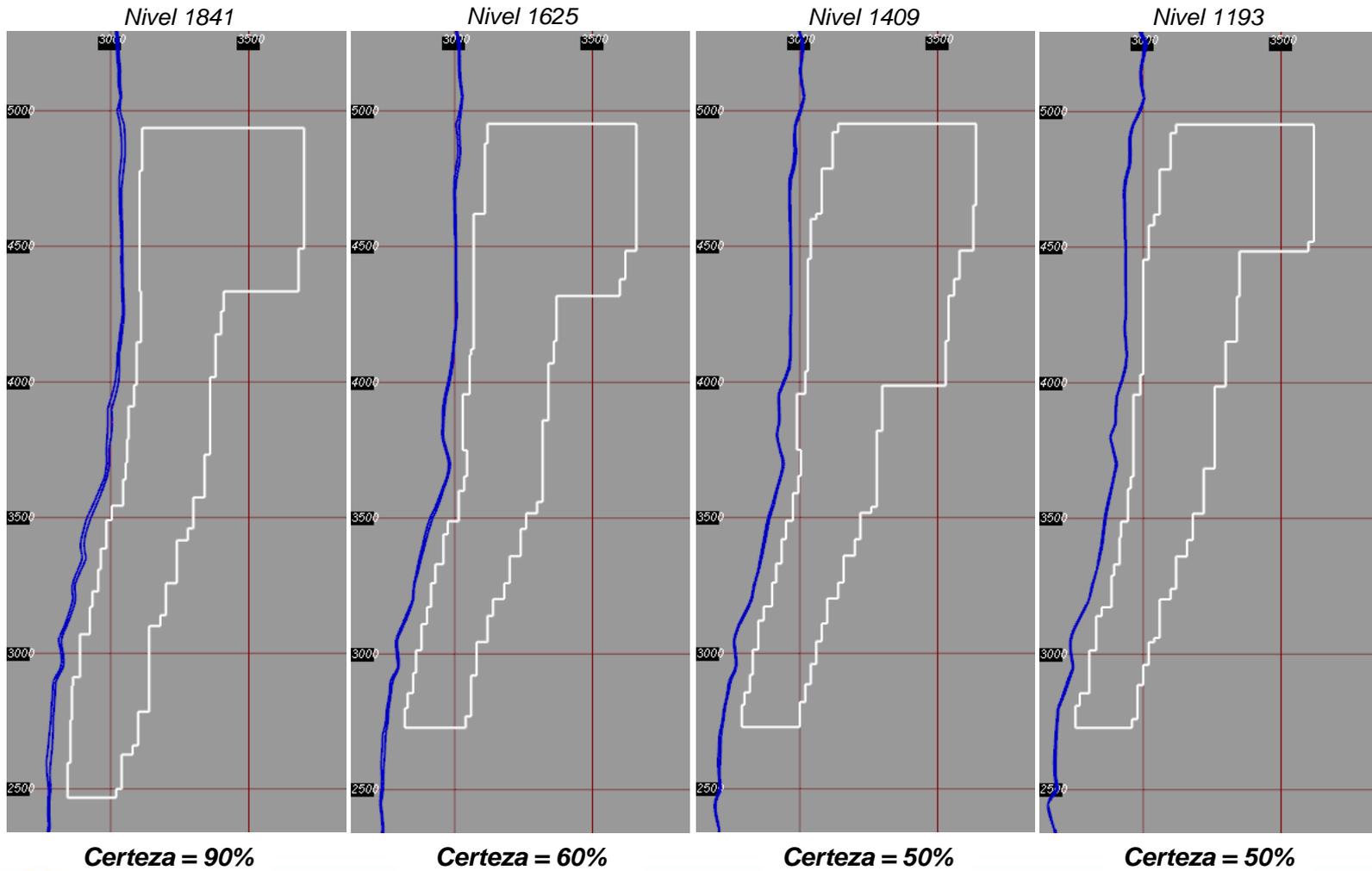


Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Planificación CHS IB

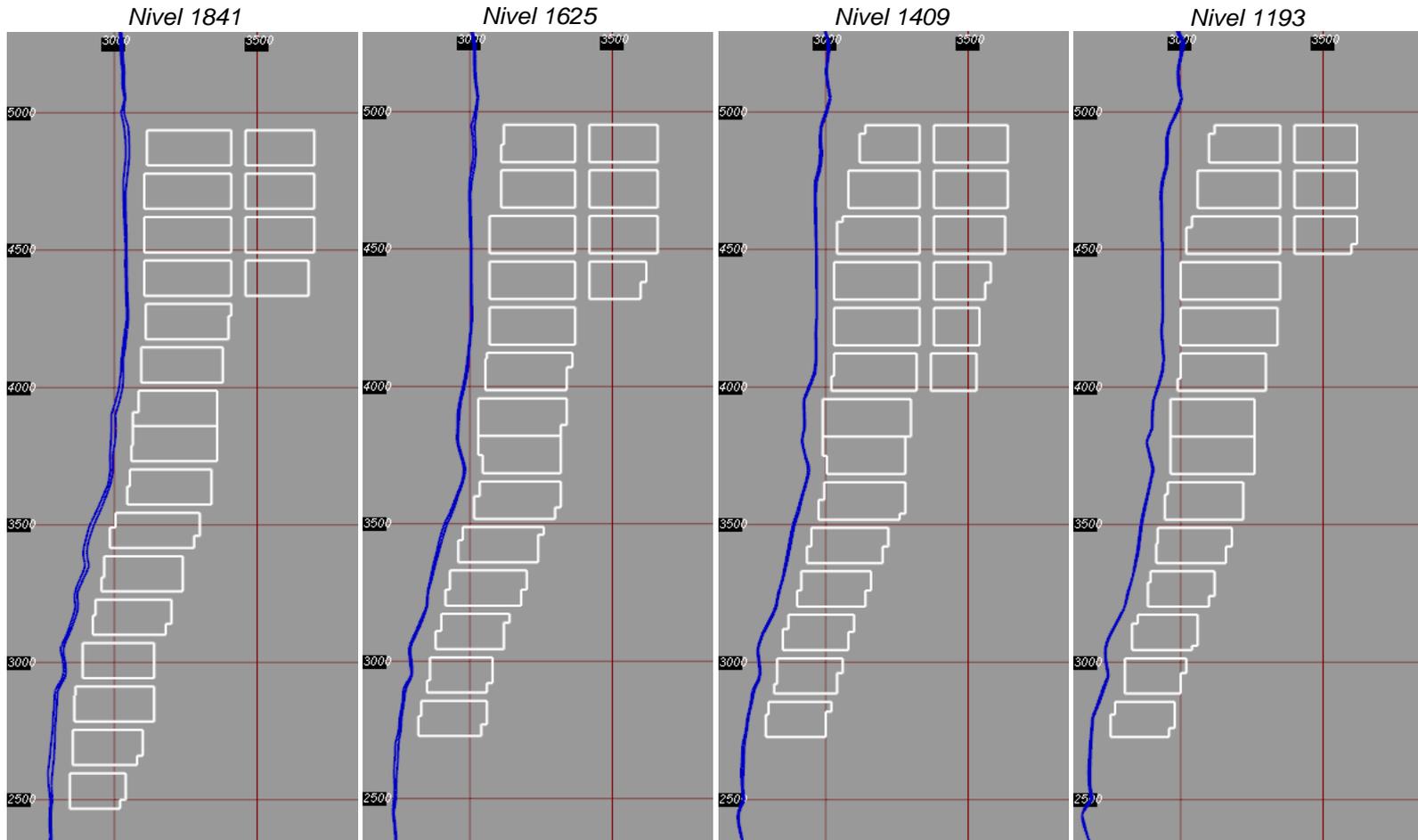


Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Planificación CHS IB

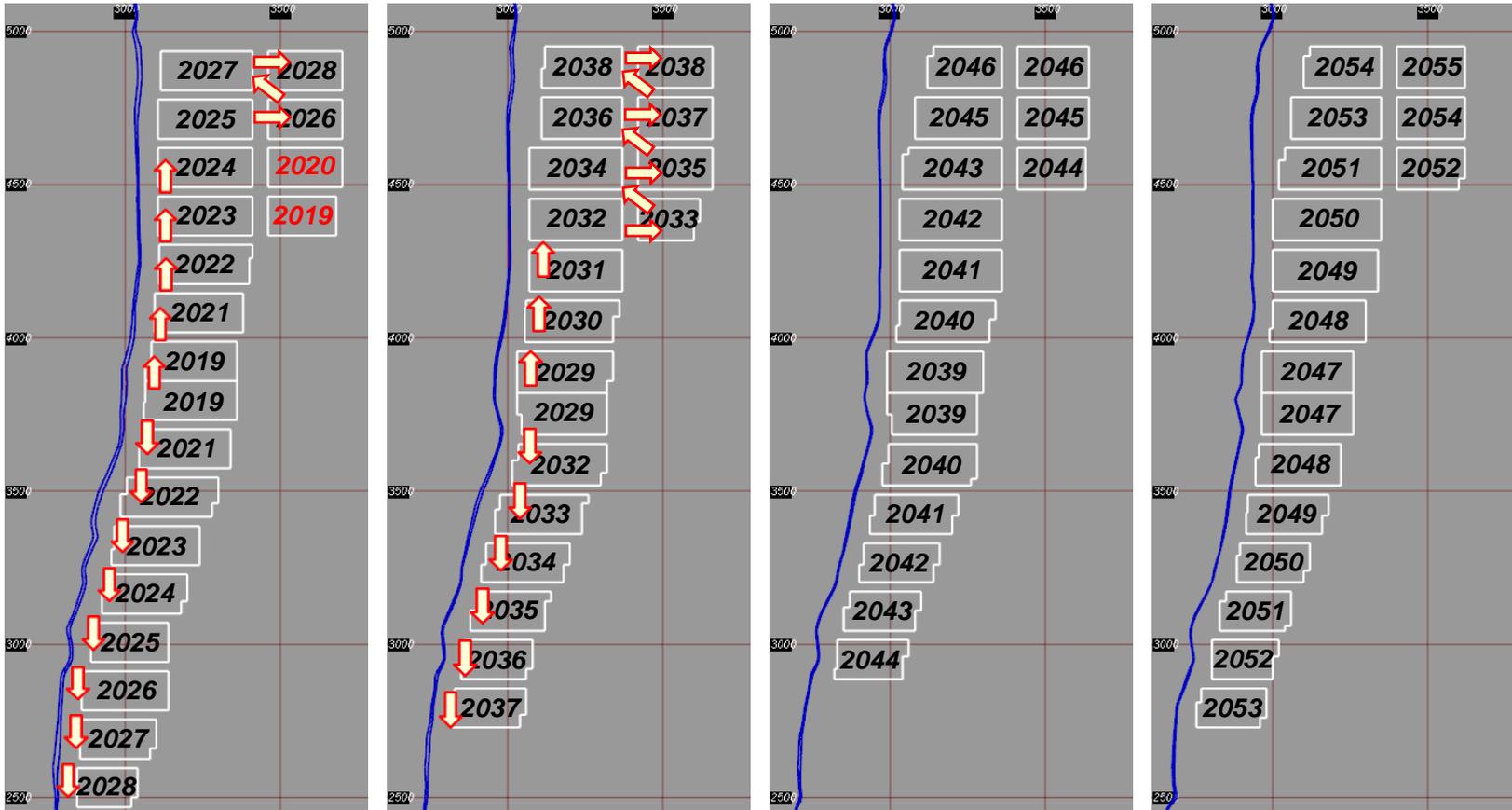


Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Planificación CHS IB



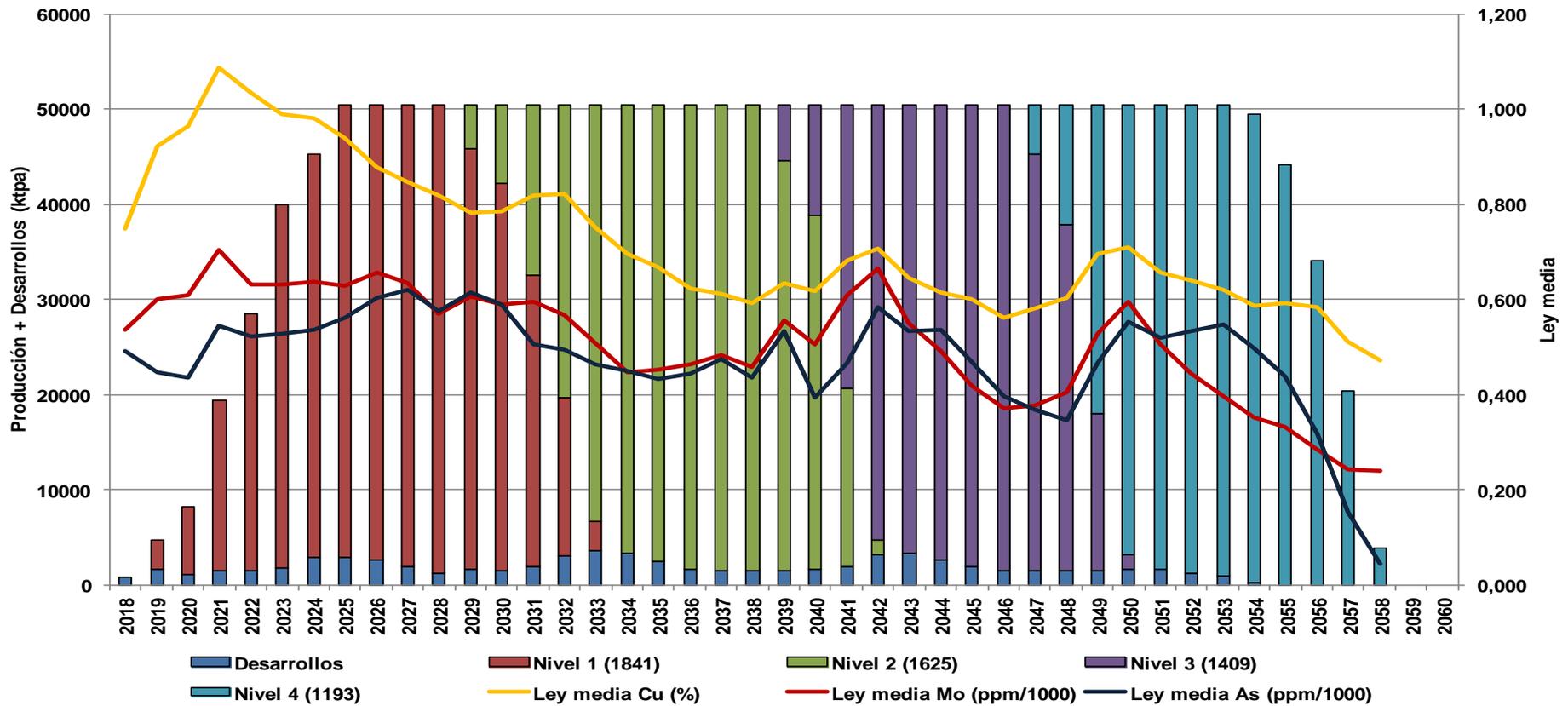
Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Planificación CHS IB

## Plan de Producción 50400 ktpa (140ktpd) PMCHS



Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.



# Comentarios Finales

- **Método de certidumbre puede ser fácilmente auditado y replicado.**
- **Metodología simple y complementaria.**
- **Genera reglas claras para discriminar recursos extraíbles.**
- **Genera información adicional al planificador. Entre ellas, permite utilizar un criterio de riesgo económico y técnico para definición de envolventes de explotación y secuenciamiento.**
- **Genera de manera simple una relación directa entre valor del plan minero y criterio de certidumbre.**
- **Susceptible de mejoras.**



# GRACIAS

Copyrights © 2011 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados.

Copyrights © 2011 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.

Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea  
Lámina N°32



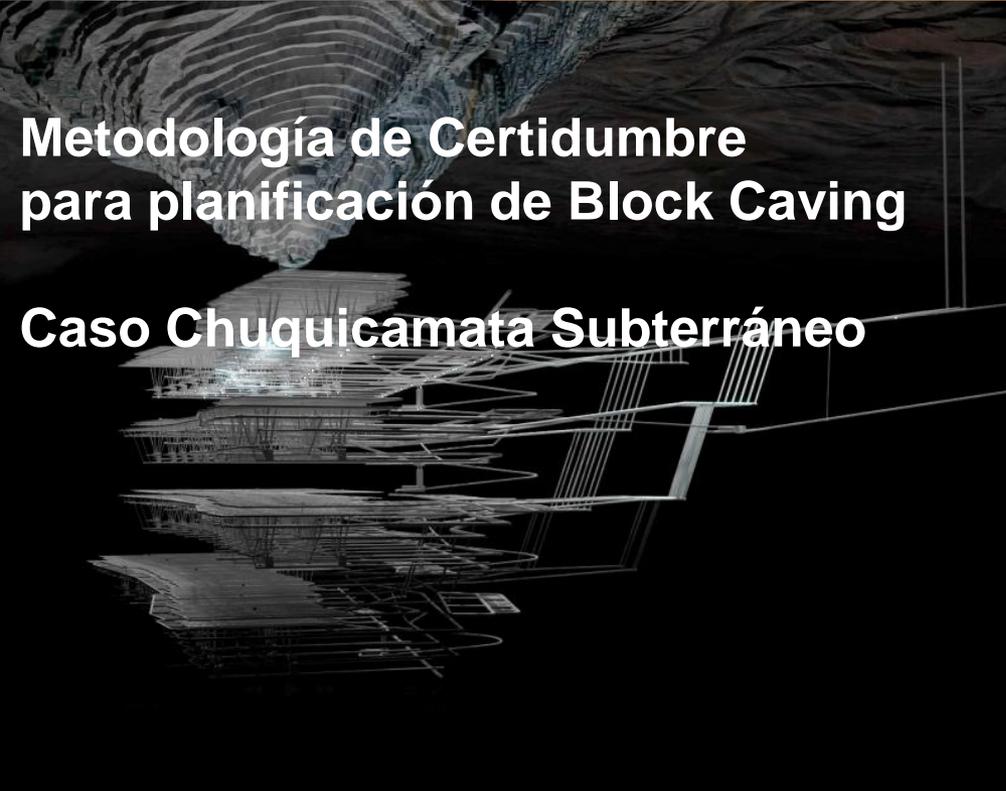
**CODELCO**  
Orgullo de Todos





Codelco Chile - Vicepresidencia de Proyectos

# Taller Buenas Prácticas Reservas Mineras



Metodología de Certidumbre  
para planificación de Block Caving

Caso Chuquicamata Subterráneo

